

SCP-RPSC - THE KEY TECHNOLOGY IN THE NEXT GENERATION STEERABLE LINES FOR SATELLITE COMMUNICATIONS

ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC В СКАНИРАЩИТЕ АНТЕННИ СИСТЕМИ ЗА СПЪТНИКОВИ КОМУНИКАЦИИ

Veselin Demirev

Department of Radiocommunications and Videotechnologies,
Faculty of Telecommunications, Technical University of Sofia
Kl. Ohridsky Blvd. N8, 1756 – Sofia, Bulgaria, demirev_v@tu-sofia.bg

Веселин Демирев

Катедра “Радиокомуникации и видеотехнологии“
Факултет по телекомуникации, Технически университет - София
Бул. Климент Охридски N 8, 1756-София, България, demirev_v@tu-sofia.bg

Keywords: SCP; RPSC; Steerable; Satellite; Communications.

Abstract – A retrospective review of the author research, dealing with possible applications of SCP-RPSC technology in the next generation steerable lines for satellite communications, is given in this report. The analysis shows that there is very wide area of different SCP-RPSC applications where it is necessary: to direct a narrow beam over a sector angle and give coverage like a sector antenna; to obtain high antenna gain and thus to reduce power and amplification requirements on radios; to narrow the antenna beam width in order to reduce multipath propagation problems; to create complex and dynamically re-configurable radio networks exhibiting high spectrum efficiency; to reuse the frequencies and timeslots in different directions; to obtain secure and reliable satellite communications, resistive to the enemy active jamming, as well as to use “multiple spot beams” approach from unstable or mobile satellite communication platforms.

Резюме - В доклада авторът е представил ретроспективен преглед на изследователската си работа в областта на приложението на технологията SCP-RPSC в следващите генерации спътникови комуникации. Специално внимание е обърнато на системите, използващи сканиращи антенни лъчи. Анализът показва извънредно широката област на приложение на технологията SCP-RPSC в спътниковите комуникации, когато е необходимо: Насочване на тесен лъч в определен ъглов сектор и осигуряване на покритие, подобно на това на секторна антена; Реализиране на голям коефициент на усилване на антенната система с оглед намаляване мощностите на излъчваните сигнали; Елиминиране на проблемите, свързани с многолъчевото разпространение на радиовълните; Създаване на комплексни и динамично преконфигуруеми радио мрежи с висока степен на спектрална ефективност; Координиране на сканирането на антенния лъч с оглед преизползване на честотно орбиталния ресурс и времевите интервали в различните направления; Елиминиране на ефектите, свързани с пространствена нестабилност или движение на спътниковата комуникационна платформа в сантиметровия и милиметровия диапазон на радиовълните, както и реализиране на надеждни и засекретени спътникови комуникации, устойчиви на активно радиопротиводействие.

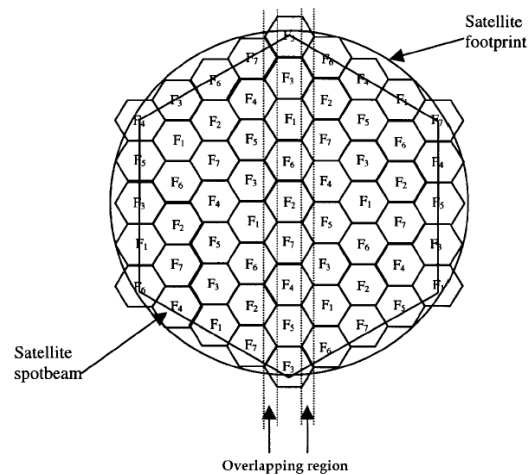
1. УВОД

В началното си развитие спътниковите системи успешно са обслужвали традиционния комуникационен пазар, т.е. телефония и телевизионно разпръскване, покривайки обширни географски области с помощта на широки лъчи [1]. Понастоящем съществува голям пазарен сегмент за фиксирани и мобилни широколентови комуникации в големи географски области, необслужвани от телекомуникационна инфраструктура. Широколентовият спътников достъп се предвижда да работи като “локална мрежа” в тези области. Използваният понастоящем метод "multiple spot beams" (фиг.1) позволява ефективно преизползване на спътниковия честотно-орбитален ресурс, както и подобряване на параметрите, влизащи в уравнението на връзка на широколентовите спътникови системи [2]. Методът осигурява наземно клетъчно покритие по подобие на наземните клетъчни мрежи, като е приложим в геостационарните спътникови системи (Geo Stationary Orbit Satellite systems - GEO,s), работещи в долната част на микровълновия честотен диапазон.

Един от най-големите технически проблеми на широколентовите спътникови комуникации е методът за достъп до спътниковия сегмент, в частност използваните антенни системи. Необходимостта от преизползването на ортогонални поляризации, от следене по ъглови координати на нискоорбитални спътници (Low Earth Orbiting Satellites - LEO,s), както и изискванията от двупосочни мобилни широколентови комуникации на ниска цена при масово производство създават проблеми, които са нерешими от традиционните антенни системи.

Възможно решение на горепосочените проблеми е използването на електронно сканиращи антенни системи (Electronically Steerable Antennas - ESA) [3]. Предимствата им включват:

- Възможност за насочване на тесни антенни лъчи в определени ъглови сектори и покритие по подобие на това на наземните секторни антени;
- Тесните антенни лъчи съответстват на големи коефициенти на усилване на антенните системи, като същевременно намаляват проблемите, свързани с многолъчевото разпространение на радиовълните;
- Възможности за създаване на комплексни и динамично преконфигуеми радио мрежи с висока степен на спектрална ефективност;
- Координиране на сканирането на антенния лъч позволява преизползването на честотите и времевите интервали в различните направления;
- Използваният понастоящем "multiple spot beams" метод е неефективен при наличието на нестабилност или движение на комуникационната платформа. Това се дължи на необходимостите от постоянни прехвърляния на трафика между различните тесни лъчи. Използването на ESA предоставя възможност за сполучливо решение на тези проблеми.



Фиг.1. Реализиране на наземни клетки с помощта на тесни спътникови лъчи

Недостатъците, свързани с приложението на ESA, включват:

- Увеличаване на сложността на антените;
- Наличие на увеличени загуби в радиочестотните трактове, намаляващи коефициента на качество на приемните антенни системи;
- Използване на нелинейни устройства в антенната система, създаващи нови нежелателни честотни продукти;
- Съществуващите ESA притежават само по един сканиращ антенен лъч. При случаите на нестабилни или движещи се платформи е необходимо едновременното използване на няколко стотин сканиращи и изолирани един от друг антенни лъчи.

Едно ново технологично решение, елиминиращо горепосочените недостатъци на ESA, беше предложено от автора [4, 5, 6]. Името на предложението е Пространствена корелационна обработка – Кодирание чрез случайно фазово разнасяне (Spatial Correlation Processing – Random Phase Spread Coding, SCP-RPSC). В настоящия доклад е направена ретроспекция на изследователската работа на автора, свързана с възможните приложения на тази технология в следващите поколения сканиращи линии за спътникови комуникации.

2. ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC В СКАНИРАЩИТЕ СПЪТНИКОВИ ФИДЕРНИ ЛИНИИ НА БОРДОВИТЕ ШИРОКОЛЕНТОВИ КОМУНИКАЦИИ ЗА ОБЩЕСТВЕН ДОСТЪП

В последно време се наблюдава засилено използване на мрежите на фиксираните спътникови служби (Fixed-Satellite Service - FSS) от земни станции, монтирани на мобилни платформи (Earth Stations mounted On Mobile Platforms - ESOMP,s) за осигуряване на телекомуникационни услуги за самолети, кораби, влакове и други превозни средства с използването на C- и Ku-радиочестотен обхват. Тъй като интересът към използването на тези системи нараства, операторите им се насочват и към други по-високочестотни ленти за FSS, в частност Ka-обхвата [7, 8]. За ограничаване на потенциалните

смущения към други геостационарни FSS системи, използващи същите честотни канали, линиите нагоре (up-links) за ESOMP,s трябва да отговарят на същите ограничения (като т.н. off-axis EIRP limits), на които са подложени и всички останали FSS земни станции.

Конструирането, честотното координиране и работата на ESOMP,s трябва да се провеждат по такъв начин, че интерференсните нива, генерирани от подобни станции, да отчитат следните фактори като разсъгласуване на антената на земната станция към спътника по ъглови координати, измененията на формата на диаграмата ѝ на насоченост и на излъчваната мощност при сканиране.

ESOMP,s, използващи следене на спътниковия сигнал по метода “closed loop tracking“, се нуждаят от алгоритми на работа, които са устойчиви на насищането на приеманите сигнали по амплитуда, както и към следене на съседните спътници по ъглови координати. Подобни земни станции трябва да прекъсват излъчването си при регистриране на режим на следене на съседен спътник. Подобно прекъсване трябва да се извършва и тогава, когато поради наличие на ъглово разсъгласуване се получава наднормено увеличаване на параметъра “off-axis EIRP“ в направление към съседните спътници.

Следенето на един спътник от мобилна платформа е основна функция за остронасочените антенни системи, използвани от ESOMP,s. Следенето се основава на две техни задължителни функции – сканиране на антенния лъч и контрол на следенето [4]. Задачите на спътниковата следяща система на ESOMP,s включват откриването на спътника и автоматичното му следене. Откриването на спътника се извършва чрез движение на антенния лъч около очакваната позиция на спътника. Процесът на автоматично следене се инициира след като силата на приемания сигнал надминава някаква определена стойност, позволяваща на приемника да обработва пилотния сигнал, специално излъчван за целта от спътника. Автоматичното следене осигурява непрекъснато следене на спътника по ъглови координати. Основните недостатъци на най-разпространените методи за следене, използвани в ESOMP,s, са:

- Използване на спътниковия сигнал като основен фактор. Нивата на приеманите сигнали от спътниците не са стабилни поради изменения на условията за разпространение, дължащи се на затихване, блокиране или засенчване;
- Продължителен период на откриване на спътника по време на стартовите процедури – от порядъка на една минута при реалните системи в Ku обхвата до няколко минути в Ka обхвата. Аналогично подобно време за откриване е необходимо след загубване на сигнала от спътника поради блокиране в градски условия;
- Конвенционалните методи позволяват следене по ъглови координати на само един спътник.

Изброените недостатъци на методите за следене на спътниците могат да бъдат успешно преодоленни с помощта на подхода SCP-RPSC [9, 10, 11]. В

съответствие с основния SCP принцип избирането на спътник за комуникиране се извършва чрез синхронизиране на съответстващия псевдослучаен (Pseudo-Noise - PN) код, използващ известния метод на достъп Code Division Multiple Access (CDMA). Тази специфична особеност на SCP-RPSC трябва да се има пред вид при необходимост от малко време за откриване. Синхронизирането на кода се състои от две фази – съвпадане и следене. Най-широко използваният алгоритъм за съвпадане на кодовете използва т.н. стратегия на последователно търсене. При нея фазата на локалния код се изменя стъпка по стъпка до постигане на съвпадане с фазата на приемания код. За всяка стойност на фазата на локалния код се извършва корелация с приемания код, като изходният сигнал на корелатора се сравнява с предварително зададено прагово ниво. При високо ниво на корелация (над праговото ниво) се регистрира синхронизация и се преминава в режим на следене. Времето за извършване на съвпадане на кодовете се намалява при съвременните CDMA системи с помощта на добре разработените методи на паралелно и комбинирано търсене до няколко десетки милисекунди – несравнимо по-малко от това на класическите методи за следене по ъглови координати, използвани в Ku и Ka честотни обхвати.

Следенето на кодовете по фаза е също така много добре развито в съвременните CDMA системи. По подобие на процедурите за синхронизация то също се извършва софтуерно, при което отпада необходимостта от използване на многоканални кохерентни RF приемници, задължително необходими при класическия моноимпулсен метод. Технологията SCP-RPSC осигурява възможност за едновременно следене на няколко кооперирани спътника, осигурявайки “space diversity“.

Друг много важен негативен фактор за микровълновите ESOMP,s е т.н. Доплеров ефект. Както беше показано от автора [11], последният се елиминира при използване на SCP-RPSC системи поради корелацията на пилотния и информационните сигнали, идентично изместени от ефекта на Доплер.

3. ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC В СКАНИРАЩИТЕ МЕЖДУ-СПЪТНИКОВИ И МЕЖДУОРБИТАЛНИ ФИДЕРНИ ЛИНИИ

Космическите сегменти на бъдещите глобални спътникови системи за широколентови комуникации могат да бъдат изградени по различни начини в зависимост от типа на орбитите на спътниците и от бордовата комуникационна технология [2]. За реализиране на комплексни услуги е възможно и използването на различни видове спътникови орбити, всяка от тях оптимизирана за определен тип услуга. Спътниците могат да бъдат свързани един с друг с помощта на междуспътникови връзки (Inter-Satellite Links ISL) или междуорбитни връзки (Inter-Orbit Links IOL). Те в съчетание с бордовото спътниково оборудване позволяват изграждането на т.н. “широколентови комуникационни мрежи в небето“.

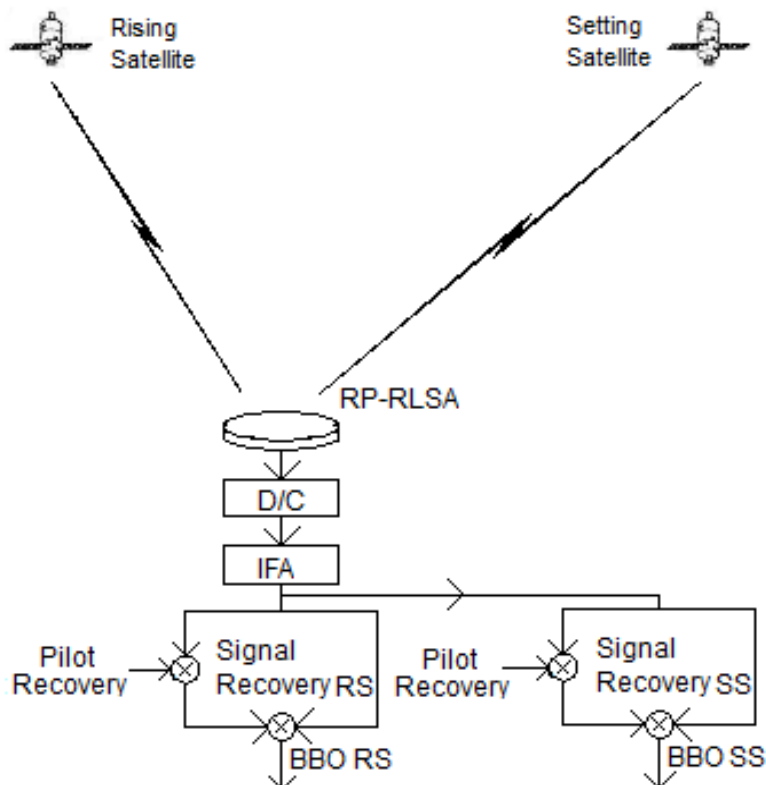
Уникалните възможности на технологията SCP-RPSC биха били много

полезни при внедряването им във фидерните линии, ISL и IOL на бъдещите LEO спътникови комуникационни мрежи. В анализа, представен в [12], са разгледани различни възможни решения от гледна точка на приложението на технологията SCP-RPSC в тях.

4. ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC В МЕО-LEO СПЪТНИКОВИ ФИДЕРНИ ЛИНИИ НА НАЗЕМНИТЕ БАЗОВИ СТАНЦИИ ЗА МОБИЛНИ КОМУНИКАЦИИ И IP LAN

През последното десетилетие се забелязва засилен интерес от страна на Интернет операторите към изграждане на високоскоростни мрежи, базирани на съзвездия от спътници на междинна орбита (МЕО) със сканиращи антенни лъчи в Ка обхвата. Целта е да се осигури евтин, с качеството на оптичен, пренос на информация за хранване на наземни мобилни клетъчни мрежи, както и на локални Интернет мрежи в необслужваеми от традиционните комуникационни мрежи области [13]. Възможните приложения на технологията SCP-RPSC в спътниковата МЕО система О3b се дискутират в [14]. Приложението на новия подход в наземния сегмент на подобни мрежи би подобрило работата им, както следва:

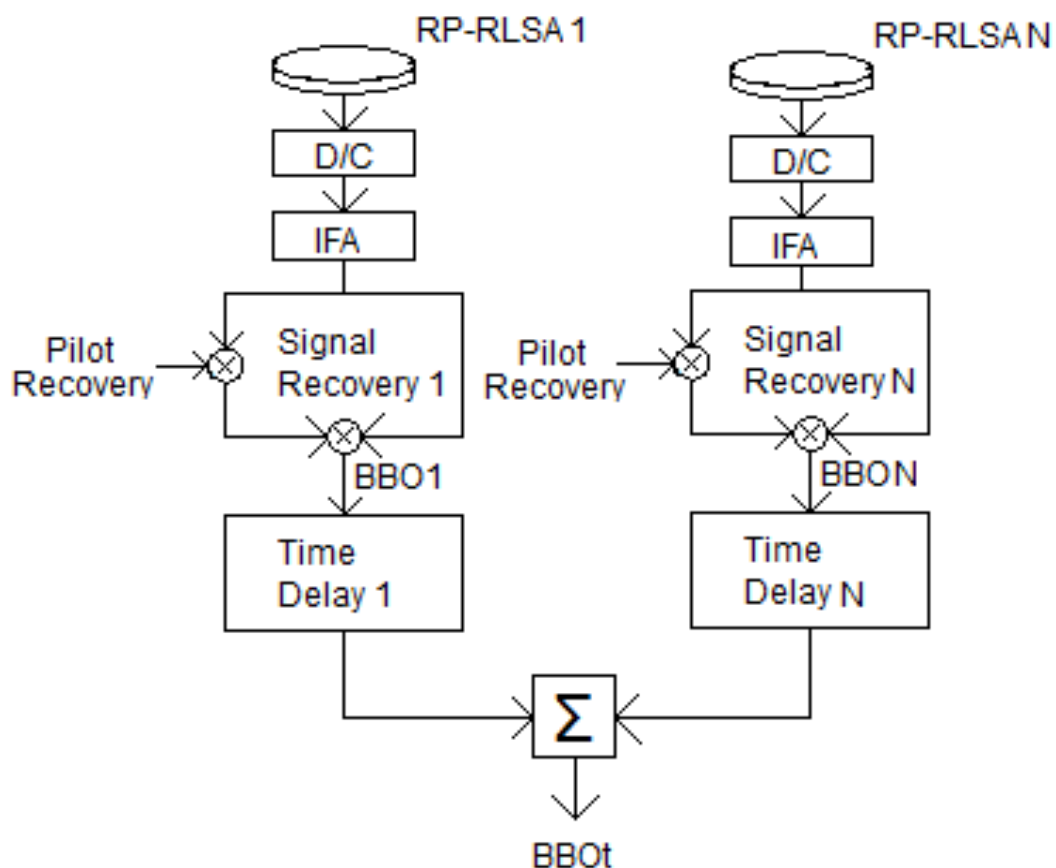
- Осигуряване на Soft handoff между излизания спътник (Setting Satellite - SS) и навлизания спътник (Rising Satellite - RS) само с една проста и евтина антенна система без механично движещи се елементи, монтирана не само на FES, но също така и на ESOMP (фиг.2);



Фиг.2. Блокова схема на приемен SCP терминал, позволяващ реализиране на *Soft handoff* между SS и RS спътници

- Осигуряване на Space diversity, предоставяйки възможности за едновременно комуникиране с повече от един ОЗб спътник;
- Съвместно използване на честотен ресурс с GEO спътникови системи;
- Възможност за използване на предложения от автора нов метод за достъп до спътниковия сегмент, наречен Random Phase Spread Coding Multiple Access (RPSC-MA) [15] с оглед увеличаване на трафичния капацитет на спътниковия сегмент;
- Възможност за предпазване на спътниковото съзвездие от т.н. космически тероризъм.

Според публикувана информация възможният максимален коефициент на усилване за антени от вида RLSA е около 40 dB. FES и ESOMP,s на предлаганата MEO система очевидно трябва да притежават антени с по-голямо усилване. В подобни случаи е възможно използване на SCP приемна земна станция с повишен коефициент на усилване с помощта на няколко индивидуални SCP приемника и сумиране на сигналите по основна честотна лента, както е показано на фиг.3.



Фиг.3. Блокова схема на приемен SCP терминал, позволяващ реализиране на приемна система с голям коефициент на усилване чрез обединяване на сигналите от няколко приемни канала в основна честотна лента

Изключителен интерес за развитието на системи от вида ОЗб представляват възможностите за използване на технологията SCP-RPSC в спътниковия сегмент. Тази идея обаче се нуждае от допълнително по-подробно изследване съвместно с разработчиците на подобен вид спътникови системи.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представен ретроспективен преглед на изследователската работа на автора в областта на приложението на технологията SCP-RPSC в следващите генерации спътникови комуникации. Специално внимание е обърнато на системите, използващи сканиращи антенни лъчи.

Изложеният анализ показва извънредно широката област на приложение на технологията SCP-RPSC в спътниковите комуникации, когато е необходимо:

- Насочване на тесен лъч в определен ъглов сектор и осигуряване на покритие, подобно на това на секторна антена;
- Реализиране на голям коефициент на усилване на антенната система с оглед намаляване мощностите на излъчваните сигнали;
- Елиминиране на проблемите, свързани с многолъчевото разпространение на радиовълните;
- Създаване на комплексни и динамично преконфигуеми радио мрежи с висока степен на спектрална ефективност;
- Координиране на сканирането на антенния лъч с оглед преизползване на честотно орбиталния ресурс и времевите интервали в различните направления;
- Елиминиране на ефектите, свързани с пространствена нестабилност или движение на спътниковата комуникационна платформа в сантиметровия и милиметровия диапазон на радиовълните.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Mehrotra, "Regulation of Global Broadband Satellite Communications", *ITU Report*, October, 2011.
- [2] R. Sheriff, Y. Fun Hu, *Mobile Satellite Communication Networks*, John Wiley & Sons, 2001.
- [3] ETSI "Technical Report TR 101 938", *ETSI V1.2.1* (2002-06)
- [4] V. Demirev, "Spatial Correlation Processing - the New Approach in the Broadband Satellite Tracking Systems", *Journal of Electrical and Control Engineering*, V.3, N 5, pp. 55-64, October, 2013.
- [5] V. Demirev, "Some Important Parameters of the Spatial Correlation Processing Technology", *Journal of Electrical and Control Engineering*, V.3, N 5, pp. 49-54, October, 2013.
- [6] V. Demirev, "Random Phase Spread Coding - the New Way to Communicate with Noise Signals at Microwaves", *Journal of Electrical and Control Engineering*, V.4, N 2, pp. 1-9, April, 2014.
- [7] ECC, "The Use of Earth Stations on Mobile Platforms Operating with GSO Satellite Networks in the Frequency Range 17.3-20.2 GHz and 27.5-30.0 GHz", *ECC report 184*,

February 2013.

- [8] V. Demirev, "Recent Trends and Future Developments of Vehicle Mounted Satellite Tracking Communications Systems", *CEMA, 13*, Sofia, Bulgaria, pp. 66-69, October, 2013.
- [9] V. Demirev, "Application of SCP-RPSC technology in the broadband mobile satellite system MOWGLY", *Telecom, 08*, Varna, Bulgaria, pp. 121-126, October, 2008 (in Bulgarian).
- [10] V. Demirev, "Application of SCP-RPSC technology in the Broadband Aeronautical Satellite Services", *Bultrans, 10*, Sozopol, Bulgaria, pp. 34-37, September, 2010 (in Bulgarian).
- [11] V. Demirev, "Study of Doppler Effect in SCP-RPSC Aeronautical Satellite Communications", *Bultrans, 2012*, Sozopol, Bulgaria, pp. 71-75, September, 2012, (in Bulgarian).
- [12] V. Demirev, "SCP-RPSC Technology in the Feeder Lines of the LEO,s Communication Systems", *CEMA, 07*, Sofia, Bulgaria, pp. 1-5, October, 2007.
- [13] "iDirect's Interoperability with O3b's MEO Satellite System: A Closer Look", *Internet*, March 2009.
- [14] V. Demirev, "Application of SCP-RPSC technology in satellite MEO Google system O 3 b", *Telecom, 2011*, Sofia, October, 2011 (in Bulgarian).
- [15] V. Demirev, "Random Phase Spread Coding Multiple Access - the New competitor of CDMA in the broadband wireless networks", *Journal of Applied Electromagnetism*, vol.13, N 1, pp. 26-32, June, 2011.